

**В.В. Аулін, доц., канд. фіз.–мат. наук, Л.Г. Віхрова, проф., канд. техн. наук,  
В.А. Бісюк, В.М. Бобрицький, аспіранти**  
*Кіровоградський національний технічний університет*

## Автоматичне керування процесом індукційного наплавлення композиційних покриттів на деталі сільськогосподарської техніки

Наведено аналіз етапів технологічного процесу наплавлення композиційних покриттів на деталі сільськогосподарської техніки (СГТ). Запропоновано автоматичну систему керування у вигляді структурної та функціональних схем.

**композиційне покриття, композиційний матеріал, індукційне наплавлення, автоматичний контроль, автоматична система керування, оптимізація параметрів процесу**

В Україні сільське господарство є однією з найважливіших галузей, яка впливає на її економічний розвиток і добробут населення. З цієї точки зору, сільське господарство потребує належної уваги, оскільки методи роботи переважно застарілі і матеріально-технічна база в основному зношена. Нестача коштів не дозволяє своєчасно замінювати деталі машин та обладнання, яке виходить з ладу, а тому проблема вдосконалення засобів та методів зміцнення деталей при виготовленні та відновленні є актуальною і потребує всебічного аналізу та пошуку способів її рішення.

Значно подовжити ресурс деталей сільськогосподарської техніки (СГТ) можна нанесенням на їх робочі поверхні композиційних покриттів (КП), що дозволяють отримати покриття з необхідним комплексом фізико-технічних та експлуатаційних властивостей.

Відомо багато способів нанесення композиційних покриттів, але автори обрали для дослідження процес індукційного наплавлення, який пройшов випробування у виробничих умовах і який використовується найчастіше для зміцнення та відновлення відповідальних деталей СГТ, наприклад, при виготовленні культиваторної лапи на ВАТ „Червона зірка”.

Метою даної роботи є аналіз технологічного процесу індукційного наплавлення струмом високої частоти (СВЧ) та виявлення можливостей вдосконалення, шляхом створення програмно-технічних засобів, які дозволять детально контролювати всі етапи процесу наплавлення, та оперативно змінювати параметри виробничого процесу (гранулометричний і хімічний склад суміші, напругу в індукторі, частоти струму і т. ін.).

*Аналіз етапів технологічного процесу наплавлення СВЧ.*

Послідовність основних технологічних операцій наступна:

- приготування суміші для наплавлення (подрібнення, змішування тощо);
- підготовка поверхні під наплавлення;
- нанесення шихти на зміцнювану поверхню;
- нагрівання зміцнюваної частини деталі в індукторі до повного розплавлювання шихти;
- охолодження до кімнатної температури на повітрі;
- видалення шлаку;
- остаточна обробка (придання деталі кінцевої форми шляхом згинання, заточення й ін.).

Технологічний процес наплавлення СВЧ можна умовно розділити на 3 етапи.

*Перший етап* приготування власне багатокомпонентної суміші (шихти). Наприклад, найчастіше в якості шихти використовується суміш порошку сормаїта з флюсом (бура, борний ангідрид, силікокальцій, фтористий кальцій і ін.). У шихті утримується 82–85% по масі металевого порошку, інше — флюс. Для індукційного наплавлення найбільше широко застосовують флюси, що представляють суміш бури і борний ангідрид (борної кислоти) [1-2].

При індукційному наплавленні робочих органів сільськогосподарських машин використовують порошки сплавів і наплавочні суміші на основі заліза, які представлені в таблиці 1 [3].

Таблиця 1 – Хімічний склад металевих порошків для індукційного наплавлення і твердість наплавленого ними металу

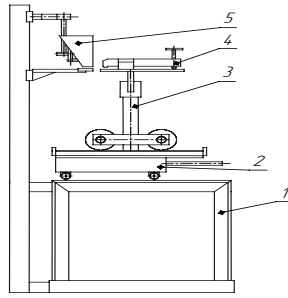
Марка (умовне найменування)	Масова частка елементів, %								Твердість наплавленого металу HRC <sub>2</sub>
	C	Mn	Si	Cr	Ni	W	B	Mo	
ПР–У30Х28Н4С4 (ПГ–С1)	3,0	1,2	3,5	29,0	4,0	-	-	-	49–52
ПР–У40Х27Н2С2ВМ (ПГ–С27)	3,8	1,2	1,5	26,5	1,8	0,3	-	0,15	51–54
ПР–У50Х38Н2С2М2 (ПГ–УС25)	5,0	2,5	2,0	38,0	1,5	-	-	-	53–56
ПР–У45Х35ГСР (ПГ–ФБХ 6–2)	4,5	3,0	1,8	35,0	-	-	1,6	-	55–60
800Х24М7С (С–2М)	8,0	7,5	2,0	25,0	-	-	-	-	>54
450Х45РС (КБХ)	5,0	0,5	1,3	47,0	-	-	-	-	>60
50Х40Р7С (БХ)	0,7	0,5	1,0	40,0	-	-	8,0	8,0	>63
400Х30М4Р2С2 (ФБХ 6–2)	4,5	4,0	2,0	32,0	-	-	1,7	1,7	>53

Точного дозування флюси для індукційного наплавлення не мають, проте, найкраще розтікання розплаву флюсу забезпечується при змісті в суміші 40% бури і 60% борного ангідриду. Щоб покращити розкислення у флюс вводять до 10% силікокальція, а для поліпшення віддільності жужільної кірки — до 40% зварювального флюсу АН–348, відповідно зменшуючи зміст бури і борний ангідрид.

*Другий етап* – нанесення приготованої шихти на поверхню деталі.

Після змішування необхідних компонентів потрібно нанести отриману шихту на поверхню деталі, яка потім обробляється в індукторі, з певною (сталою або змінною за деяким правилом) товщиною шару та з конкретною конфігурацією зміцнюваної поверхні (ріжучі кромки лап культиваторів, наконечники лемешів).

Звичайно для нанесення шару шихти використовують різні типи дозаторів, наприклад на ВАТ „Червона зірка” використовується дозатор механічної дії (рис. 1).



1 - станина; 2 - платформа; 3- каретка; 4 - державка; 5 – дозатор

Рисунок. 1 - Схема пристрою для дозування шихти

Компоненти шихти, в даному випадку попередньо змішані в барабані-змішувачі, засипаються в бункер дозатора. Під дією власної сили тяжіння порошок шихти тисне на поверхню кульки, тим самим притискає її до стінок вихідного патрубку. При підведенні до патрубка з кулькою поверхні деталі, вона починає тиснути на кульку в протилежному напрямку до сили ваги шихти, що знаходиться в бункері. В результаті кулька під дією сили тиску зміщується в верх по патрубку, тим самим відкриваючи отвір у вигляді кільця для просипання шихти на поверхню деталі, яка переміщується відносно дозатора.

Даним дозатором можливо наносити шар шихти тільки сталої товщини, ширини і по прямолінійному контуру. Не передбачена можливість зміни конфігурації деталі та інших параметрів.

*Третій етап* - процес безпосередньо індукційного наплавлення.

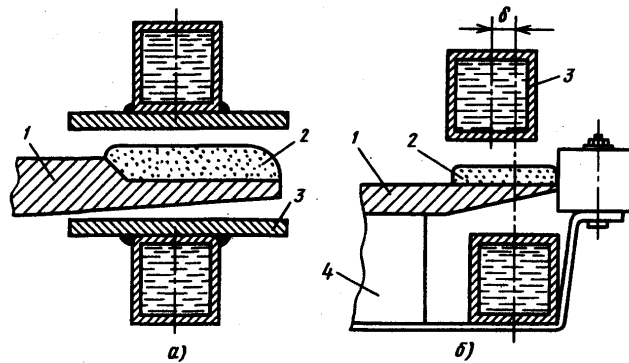
Сутність індукційного наплавлення полягає в наступному. Деталь розміщують в електромагнітному полі індуктора, що живиться змінним струмом високої частоти (СВЧ). У масі металу деталі або компактної присадки індуктуються вторинні змінні струми тієї ж частоти, що розподіляються в поверхневому шарі металу і нагрівають цей шар. Для сталевих деталей переважне нагрівання СВЧ поверхневих шарів металу зберігається аж до точки Кюрі (768 °С). Після того, як метал нагріється до температури вище точки Кюрі, глибина проникнення індуктованих струмів збільшується в 10–20 разів (у залежності від частоти), завдяки чому розподіл температури в металі, що нагрівається, стає більш рівномірним. Для запобігання окислюванню, а також поліпшення оплавлення основного і наплавленого металів застосовують флюси.

Флюс, що входить до складу шихти, плавиться, розчиняє оксиди, забезпечує гарне змочування зміцнюваної поверхні і розтікання по ній зносостійкого сплаву. При напавленні цим способом ніякої спеціальної підготовки поверхні виробу не потрібно. Можна напавляти поверхні як механічно оброблені, так і покриті шаром оксидів після металургійного переділу (прокатки).

Слід зазначити, що в найбільш поширених способах індукційного наплавлення в якості присадочного матеріалу застосовують не компактні матеріали, а шихту, що складається з металевих порошоків і флюсових добавок. Металеві гранули ізольовані одна від одної частками флюсу, унаслідок чого електропровідність порошкового шару і виділення в ньому енергії малі. З цієї причини нагрівання і розплавлення порошкової шихти йде, в основному, за рахунок теплопередачі від основного металу, що нагрівається СВЧ.

Спосіб розплавлення порошкової шихти, нанесеної на зміцнювану поверхню деталі використанням СВЧ для нагрівання основного металу і розплавлення нанесеної на нього порошкової шихти, знайшов найбільше поширення в промисловості. У масовому виробництві освоєне індукційне наплавлення лемешів

плугів, лап культиваторів, ножей-ботворізів, рештаків вугільних конвеєрів і інших деталей, на рисунку 2 зображено наплавлення лемеша. Продуктивність наплавлення досягає 10 кг/год. Можливе одержання наплавлених шарів товщиною 0,4 мм і більше.



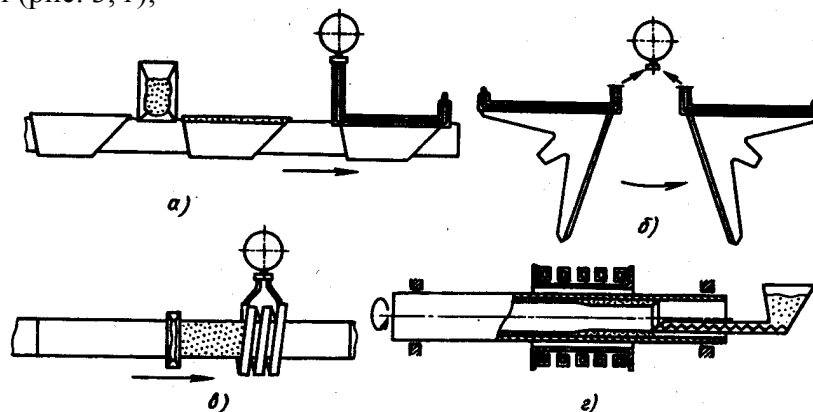
1- деталь, що обробляється; 2- шар шихти; 3- індуктор; 4-опора

Рисунок 2 - Схема розміщення лемеша (а) та лапи культиватора (б) в індукторі

Конструкція індуктора і розташування в ньому деталі залежать від конфігурації зміцнюваної ділянки. Джерелом живлення, як правило, служать високочастотні генератори з частотою 70 кгц.

У залежності від конфігурації і габаритів деталей, характеристик високочастотних установок і інших факторів застосовують чотири основних технологічних способи наплавлення [4-5] які схематично зображені на рисунку 3:

- деталь з нанесеною на всю зміцнювану поверхню шихтою вводиться в індуктор, де відбувається одночасне розплавлення шихти (рис. 3, а) ;
- поверхня деталі наплавляється в два або кілька прийомів; цей метод також дозволяє при обмежених потужностях високочастотних генераторів наплавляти значні поверхні (рис. 3, б);
- деталь послідовно переміщається в індукторі; нанесення шихти передуює надходженню ділянки деталі на наплавлення; у цьому випадку забезпечується рівномірність наплавленого шару, удається знизити вплив коливань товщини леза на температуру нагрівання сталі. Крім того, при неперервно-послідовному напавленні вдається зміцнювати довгомірні поверхні з використанням генераторів малої потужності (рис. 3, г);



а – одночасне, б – послідовне, в – неперервно-послідовне, г – центробіжне

Рисунок 3 – Схеми основних способів індукційного наплавлення

- внутрішня поверхня циліндричних деталей (труб, втулок) наплавляється шляхом нагрівання кільцевим індуктором зовнішньої поверхні і подачі шихти спеціальним дозатором у внутрішню порожнину деталі (рис. 3, в). Для такого

наплавлення звичайно використовують машинні високочастотні генератори з частотою 2500 Гц.

На підприємствах в основному використовують індуктор і генератор конкретного типу, з заданими наперед сталими параметрами (частотою, силою струму, часом наплавлення однієї деталі і т.д.). Контроль за якістю наплавлення виконується робітниками здебільшого візуально.

*Аналіз етапів технологічного процесу за літературними джерелами і виробничим досвідом показав недостатній рівень автоматизації процесу наплавлення КП й нагальну потребу в розробці програмно-технічних засобів для автоматичного контролю та керування процесом і з'єднанні їх в єдину керовану систему. Це дозволить уникнути ряду перерахованих вище недоліків технологічного процесу індукційного наплавлення і оптимізувати його по визначальним факторам і енергетичними витратам.*

На першому етапі для якості КП, визначальним фактором є контроль за дисперсним складом суміші, тобто вмістом і характером розподілу наповнювача в матриці композиційного матеріалу (КМ) та в КП, гранулометричним і хімічним складом компонентів. Якісне приготування багатокомпонентної суміші з можливістю в динаміці керувати процесом, постійно аналізувати її склад і швидко реагувати на зміну вхідних параметрів на першому етапі є вирішальним для якості кінцевого виробу.

Методи аналізу дисперсного складу - (ДС) поділяються на дві групи – селективних і методів, заснованих на взаємодії різних впливів з обсягом ДС. Групу селективних інтегральних методів підрозділяють на методи, в основу яких покладено механічний поділ часток на провальних і безпровальних ситах, а також гідравлічна сепарація в стисливій і нестисливій рідинах і електричній сепарації, вони одержали широке поширення при аналізі порошків і зернистих середовищ на лабораторних ситах. У методах комбінованої сепарації застосовується повітряно-ситова сепарація і повітряно-ситова з використанням спрямованих звукових коливань. Основними недоліками методів механічного поділу часток є: низька чіткість поділу на фракції, високий «нижній поріг чутливості» (тому що утруднено процес просівання часток на ситах з розмірами осередків менше 40 мкм), вплив на точність аналізу тривалості просівання, форми часток, зносу сит і ін. факторів. Недоліком методів є агрегування часток у процесі поділу, що приводить до похибки результатів дисперсного аналізу. З метою зменшення цих похибок застосовують дезагрегатори і промивні рідини. Методи гідравлічної сепарації, засновані на осадженні часток у рідині під дією гравітаційних сил, (седиментація), застосовуються для лабораторних досліджень. Гравітаційному аналізу властиві похибки, обумовлені конвекцією середовища, різними швидкостями осадження великих часток, спливанням більш дрібних часток, агрегацією часток, а також залежністю результатів від форми часток і концентрації суспензії.

Відцентровій сепарації властива можливість простого регулювання відцентрової сили, що сприяє виділенню часток визначеного класу в сепараторах, циклонах, центрифугах.

Струминна сепарація заснована на інерційному осадженні часток при витіканні рідини або газу зі зваженими частками на тверду перешкоду (імпактори), або рідку перешкоду (імпіджери). До недоліків струминної сепарації варто віднести складність розшифровки результатів, залежність селективності процесу від речовини часток дисперсної системи.

Але на сьогоднішній день механічний поділ є найдешевшим, що є досить важливою перевагою в умовах масового виробництва на великих підприємствах, тому систему контролю запропоновано будувати саме на його основі, схема зображена на рисунку 4.

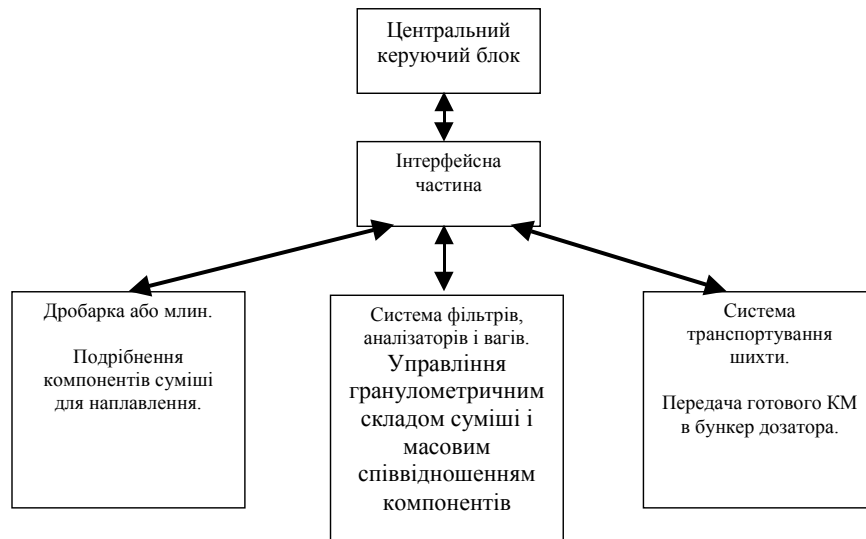


Рисунок 4 – Функціональна схему етапу приготування багатокомпонентної суміші для наплавлення

Для керування процесом приготування суміші автори пропонують спосіб описаний в роботі [6], де запропоновано спосіб виготовлення багатокомпонентної суміші, який дозволяє одночасно керувати гранулометричним складом як всієї суміші, так і окремих компонентів, і дозувати об'ємно-масове співвідношення компонентів. Сутність запропонованого способу полягає в тому, що всі компоненти суміші проходять процес фільтрації та подрібнення до заданих умов гранулометричного складу як кожного компонента так і всієї суміші, всі фільтри зв'язані з керуючим блоком, який задає розмір комірки фільтрів, збирає дані з системи датчиків і забезпечує програмно-апаратний інтерфейс з центральним керуючим блоком і через нього з оператором процесу.

На другому етапі необхідно контролювати такі параметри процесу, як товщину шару шихти, рівномірність або дискретність її нанесення, конфігурацію нанесеного шару, яка залежить від конкретної деталі. Щоб задовільнити цим вимогам потрібен новий тип дозаторів з можливістю дистанційного керування, та автоматичною зміною параметрів нанесення при зміні вхідних параметрів (іншого типу деталі, зміні складу шихти або безпосередньо по сигналу від керуючої ЦЕОМ АСУ. Для контролю процесу можна застосувати систему оптичних датчиків та розробити систему “зворотного зв'язку”, тобто при певному відхиленні від “еталонних” оптичних образів (які зберігаються в цифровому вигляді в ЦЕОМ) система повинна автоматично змінювати параметри процесу нанесення (рис. 5).

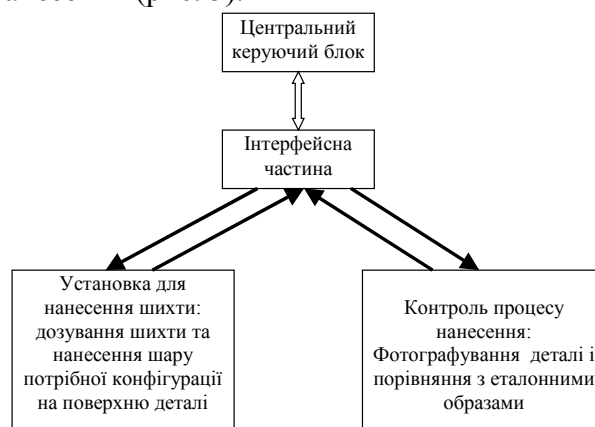


Рисунок 5 – Функціональна схема етапу нанесення шихти на поверхню деталі, що наплавляється

На останньому етапі – індукційному наплавленні, необхідно керувати такими параметрами як сила струму і його частота, конфігурація індуктора, час наплавлення, температура розплаву і матеріалу поверхні деталі, а також реалізувати кінцевий контроль зміцненої деталі.

Для забезпечення інтеграції всіх етапів в єдиний виробничий процес, автори пропонують використати програмно-апаратні (програмно-технічні) комплекси, структурна схема яких зображена на рисунку 6.

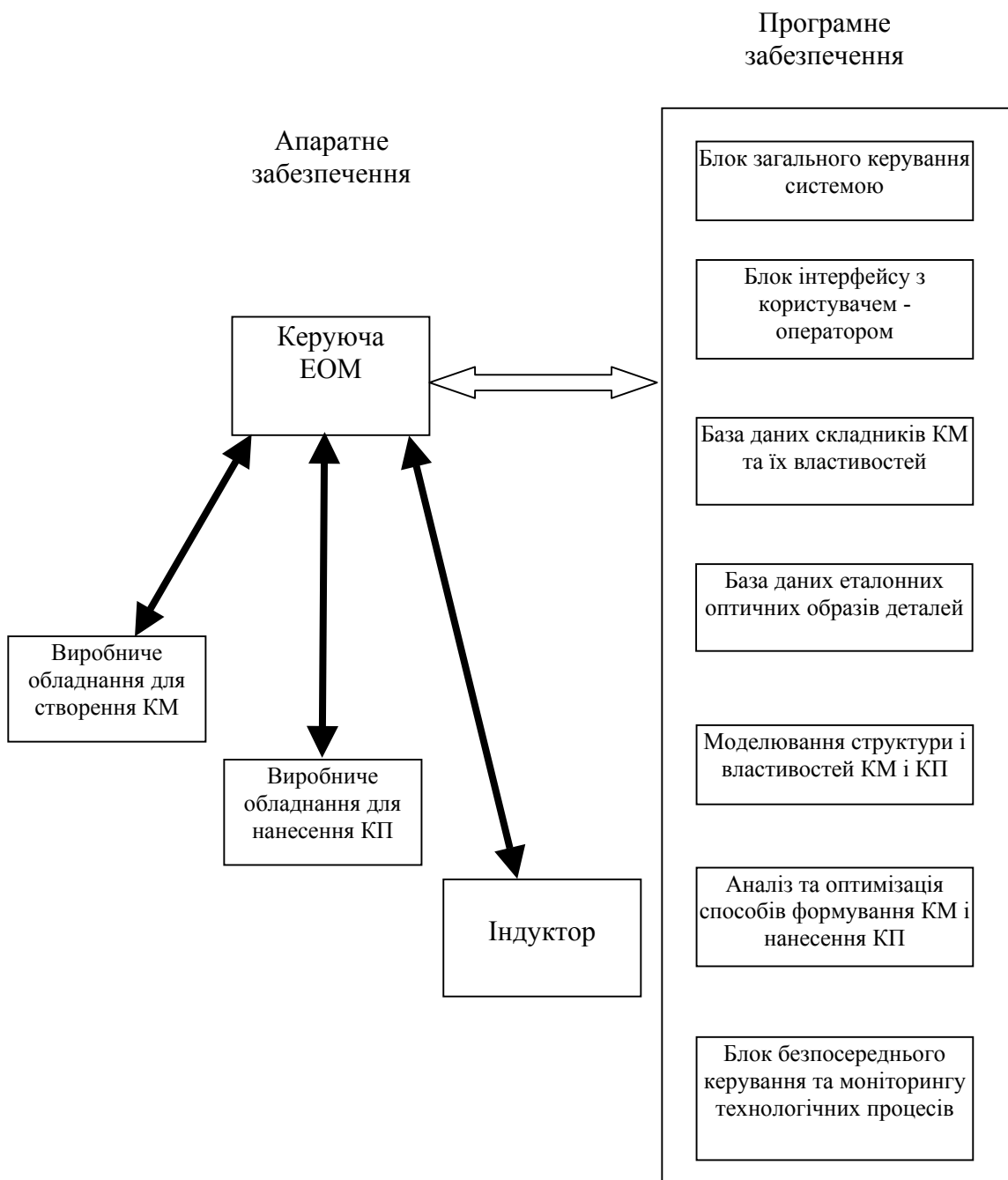


Рисунок 6 - Структурна схема автоматичної системи керування процесом наплавлення КП

**Висновки.** Проведений аналіз процесу наплавлення СВЧ показав, що виробництво потребує розробки та впровадження сучасних автоматичних систем керування (АСК), проектування дозволить автоматизувати процес зміцнення деталей СГТ, наплавленням КП на поверхні.

Запропоновано функціональні схеми етапів автоматизованого процесу наплавлення КП та розроблено структурну схему АСК процесу.

Автоматичне керування етапами виробничого процесу дозволить: моделювати структуру і властивості КМ і КП; оптимізувати способи формування КМ і нанесення КП; автоматично контролювати параметрів процесу; економити енергоресурси та матеріали; розробити програмне забезпечення, що містить обмежуючі критерії, які повинні спрямовувати обчислення критеріїв і характеристик КМ і КП в необхідному напрямку.

## Список літератури

1. Радомысельский И.Д., Сердюк Г.Т., Щербань М.И. Конструкционные порошковые материалы. – К.: Техника, 1985. - 152 с.
2. Пантелеенко Ф.И. Самофлюсующиеся диффузионно-легированные порошки на железной основе и защитные покрытия из них. – Мн.: Технопринт, 2001. – 300 с.
3. Рябцев И. А., <http://www.uatechnology.org/>, ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины
4. Ткачев В. Л. Износ и повышение долговечности деталей сельскохозяйственных машин. М.: Машиностроение, 1971. –264 с.
5. Ткачев ВЛ., Фиштейн БЖ, Казннцев Н.В., Алдырев ДА. Индукционная наплавка твердых сплавов. М.: Машиностроение, 1970. – 182 с.
6. Аулін В.В., Віхрова Л.Г., Бісюк В.А., Бобрицький В.М. Керування процесом приготування багатокомпонентної суміші для нанесення композиційних покриттів на деталі машин. Збірник наукових праць КНТУ №16, 2005 - С. 266.

Приведен анализ этапов технологического процесса наплавки композиционных покрытий на детали СХТ. Предложена автоматическая система управления в виде структурной и функциональных схем.

In this item the analysis of the stages of technological process of welding composition coverages on the details of agriculture machines. The automatic control system is offered as structural and functional diagrams.